

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-195201

(P2003-195201A)

(43) 公開日 平成15年7月9日 (2003.7.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テリトリー* (参考)
G 0 2 B 26/08		G 0 2 B 26/08	J 2 C 1 6 2
B 4 1 J 2/445		26/10	G 2 H 0 4 1
G 0 2 B 26/10		G 0 3 F 7/20	5 0 5 2 H 0 4 5
G 0 3 F 7/20	5 0 5		5 1 1 2 H 0 9 7
	5 1 1	H 0 4 N 1/04	B 5 C 0 7 2
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2001-396578(P2001-396578)

(22) 出願日 平成13年12月27日 (2001.12.27)

(71) 出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(71) 出願人 000005430

富士写真光機株式会社

埼玉県さいたま市北区植竹町1丁目324番地

(72) 発明者 沢野 充

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富

士写真フイルム株式会社内

(74) 代理人 100105647

弁理士 小栗 昌平 (外4名)

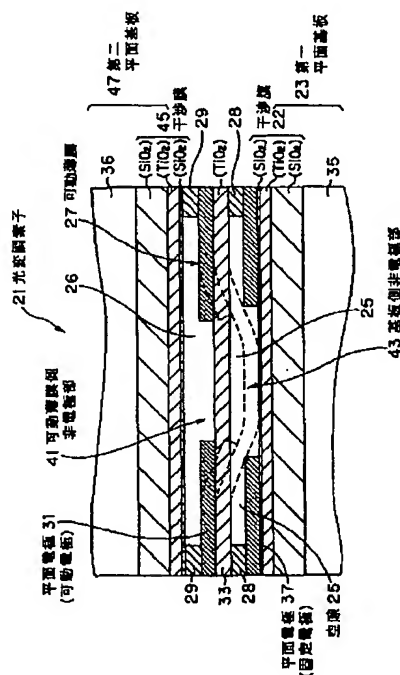
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光変調素子及び光変調素子アレイ並びにそれを用いた露光装置

(57) 【要約】

【課題】 光透過を可能にする波長マージンを広くすることができ、それにより、膜厚精度、光学系組み込み精度、入射光の波長精度等を緩めることができる光変調素子及び光変調素子アレイ並びにそれを用いた露光装置を得る。

【解決手段】 それぞれが干渉膜を備え変調する光に対して透明な第一平面基板23と可動薄膜27とを空隙25を隔てて平行に対向配置し、第一平面基板23及び可動薄膜27のそれぞれに設けた平面電極31、37への電圧印加により発生させた静電気力によって可動薄膜27を第一平面基板23に対して変位させ、可動薄膜27を透過又は反射する光量を変化させる光変調素子21において、可動薄膜27を挟んで第一平面基板23の反対側に、干渉膜45を備え変調する光に対して透明な第二平面基板47を、空隙26を隔てて平行に対向配置した。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 それぞれが干渉膜を備え変調する光に対して透明な第一平面基板と可動薄膜とを空隙を隔てて平行に対向配置し、前記第一平面基板及び前記可動薄膜のそれぞれに設けた平面電極への電圧印加により発生する静電気力によって、前記可動薄膜を前記第一平面基板に対して変位させ、前記可動薄膜を透過又は反射する光量を変化させる光変調素子であって、前記可動薄膜を挟んで前記第一平面基板の反対側に、干渉膜を備え変調する光に対して透明な第二平面基板を、空隙を隔てて平行に対向配置したことを特徴とする光変調素子。

【請求項 2】 前記可動薄膜が、前記平面電極の形成されない可動薄膜側非電極部を有し、前記第一平面基板が、前記可動薄膜側非電極部と対面する位置に前記平面電極の形成されない基板側非電極部を有していることを特徴とする請求項 1 記載の光変調素子。

【請求項 3】 前記可動薄膜を矩形状に形成し且つ前記可動薄膜の長手方向両端を支持した請求項 1 又は請求項 2 記載の光変調素子と、同一平面上で、前記可動薄膜の長手方向に直交する方向に複数近接させて並設したことを特徴とする光変調素子アレイ。

【請求項 4】 請求項 3 記載の光変調素子アレイと、前記光変調素子アレイに光ビームを照射するレーザ光源と、前記光ビームに感光する感光材料に対して、前記光変調素子アレイからの出射光を主走査方向及びこれと直交する副走査方向に相対移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする露光装置。

【請求項 5】 請求項 3 記載の光変調素子アレイと、前記光変調素子アレイに光ビームを照射する高出力レーザ光源と、前記光変調素子アレイからの出射光を集光する集光レンズと、前記光ビームに感光する感光材料に対して、前記集光レンズにより集光された出射光を主走査方向及びこれと直交する副走査方向に相対移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、静電気力で可動薄膜を変位させることにより、可動薄膜を透過又は反射する光の量を変化させて、光を変調する光変調素子及び光変調素子アレイ並びにそれを用いた露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】光の振幅、位相、周波数を時間的に変化させる制御素子に光変調素子がある。光変調素子は、光を透過させる物質の屈折率を、物質に印加する外場によ

って変化させ、屈折、回折、吸収、散乱等々の光学現象を介して、最終的にこの物質を透過又は反射する光の強度を制御する。この一つに、マイクロマシンングにより作製された可動薄膜を、静電気力により機械的動作させることで光変調する電気機械的な光変調素子が知られている。この光変調素子としては、例えば図 14 (a) に示すように、透明な可動電極 1 と干渉膜を有するダイヤフラム 3 からなる可動薄膜 5 を、固定電極 9 を有する平面基板 11 上に支持部 7 を介して架設したものがある。

【0003】この光変調素子では、図 14 (b) に示すように、両電極 1、9 間に所定の駆動電圧 V_{ON} を印加することで電極 1、9 間に静電気力を発生させ、可動薄膜 5 を固定電極 9 に向かって撓ませる。これに伴って素子自体の光学的特性が変化し、光変調素子は光が透過する透過状態となる。これは、例えばファブリペロー干渉を利用して光変調部から出射される光の強度を制御することで変化させる。一方、印加電圧をゼロとする等の非駆動電圧を印加することで可動薄膜 5 が弾性復帰し、光変調素子は光を反射する反射状態となる。このようにして、例えば光変調素子の入射光導入側においては、駆動電圧の印加により明となり、非駆動電圧の印加により暗となる光変調が実現される。この種の光変調素子によれば、静電誘導により可動薄膜 5 を駆動するので、従来の液晶型光変調器に比べて高速な応答が可能になる。

【0004】ここで、上記のようなファブリペロー干渉を利用した基本的な光変調作用について説明する。ファブリペロー干渉では、入射光線が、反射と透過を繰り返して多数の光線に分割され、これらは互いに平行となる。透過光線は、無限遠において重なり合い干渉する。面の垂線と入射光線のなす角を θ とすれば、隣り合う二光線間の光路差は $x = n t \cdot \cos \theta$ で与えられる。但し、 n は二面間の屈折率、 t は間隔である。光路差 x が波長 λ の整数倍であれば透過線は互いに強め合い、半波長の奇数倍であれば互いに打ち消し合う。即ち、反射の際の位相変化がなければ、

$$2 n t \cdot \cos \theta = m \lambda \quad \cdots (1) \quad \text{で透過光最大となり、}$$

$$2 n t \cdot \cos \theta = (2 m + 1) \lambda / 2 \quad \cdots (2) \quad \text{で透過光最小となる。}$$

但し、 m は整数である。即ち、平行ミラー間で反射と透過が繰り返されるファブリペロー干渉においては、空隙の略整数倍の波長のみが光変調素子を透過する。

【0005】ここで、図 14 に示す構成の光変調素子を用い、例えばブラックライト用紫外線ランプ（低圧水銀ランプ）からの出射光を光変調する場合を考える。低圧水銀ランプの内壁にブラックライト用の蛍光体を塗布した場合、その発光紫外線の分光特性は、例えば図 15 に示すように、360 nm 付近に中心波長 λ_0 を持つようになる。

【0006】ここで、光変調素子に非駆動電圧 V_{OFF} を

印加したときの空隙10の間隔を t_{off} とする(図14(a)の状態)。また、駆動電圧 V_{ON} を印加したときの空隙10の間隔を t_{on} とする(図14(b)の状態)。更に、 t_{on} 、 t_{off} を下記のように設定する。

$$t_{on} = 1/2 \times \lambda_0 = 180 \text{ nm}$$

$$t_{off} = 3/4 \times \lambda_0 = 270 \text{ nm}$$

但し、

$$m = 1$$

λ_0 : 紫外線の中心波長

とする。

【0007】また、可動薄膜5及び干渉膜3は、その光強度反射率を $R = 0.85$ とする。空隙10は空気又は希ガスとし、その屈折率は $n = 1$ とする。紫外線はコリメートされているので、光変調素子に入射する入射角 θ は略ゼロとする。このときの光変調素子の波長に対する光透過率は図16に示すようになる。即ち、光変調素子21は、可動電極1と固定電極9との間に非駆動電圧 V_{OFF} を印加したとき、 $t_{off} = 270 \text{ nm}$ となり、図15に示す 360 nm 付近に中心波長 λ_0 を持つ紫外線をほとんど透過させない。一方、駆動電圧を印加して $t_{on} = 180 \text{ nm}$ となると、 360 nm 付近に中心波長 λ_0 を持つ紫外線を透過させるようになる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の光変調素子では、干渉モードで光変調を行う場合に、光透過を可能とする波長域(波長マージン)が非常に狭くなる傾向がある。上記の光変調素子の場合、図16に示す波長 360 nm 付近の波長スペクトル、即ち、光透過状態となり得る波長域は、非常にシャープな分布となり透過帯が狭小となる。従って、この狭小な透過帯によって光変調素子を正しく動作させるには、光変調素子製造時の膜厚精度、光学系組み込み精度、入射光の波長精度等を高精度に維持しなければならず、仮に、この狭小な透過帯を超えるような誤差が生じたときには、光変調素子が光のオン/オフ制御が行えなくなる。このため、光変調素子の製造コストが増大するといった問題があった。

【0009】本発明は、このような状況に鑑みてなされたもので、光のオン/オフ変調が可能となる波長マージンを広くすることができ、それにより、膜厚精度、光学系組み込み精度、入射光の波長精度等を緩めることができる光変調素子及び光変調素子アレイ並びにそれを用いた露光装置を提供し、もって、光変調素子の製造コスト低減を図ることを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための本発明に係る請求項1記載の光変調素子は、それぞれが干渉膜を備え変調する光に対して透明な第一平面基板と可動薄膜とを空隙を隔てて平行に対向配置し、前記第一平面基板及び前記可動薄膜のそれぞれに設けた平面電

極への電圧印加により発生する静電気力によって、前記可動薄膜を前記第一平面基板に対して変位させ、前記可動薄膜を透過又は反射する光量を変化させる光変調素子であって、前記可動薄膜を挟んで前記第一平面基板の反対側に、干渉膜を備え変調する光に対して透明な第二平面基板を、空隙を隔てて平行に対向配置したことを特徴とする。

【0011】この光変調素子では、可動薄膜と第一平面基板とからなる干渉フィルター(ファブリーペローフィルター)に、干渉膜を有する第二平面基板を空隙を隔てて直列に結合することで、比較的広い波長域の透過帯が得られるようになる。つまり、従来、可動薄膜と第一平面基板とを透過させた場合では狭かった、光透過を可能にする波長マージンを広くすることができ、これにより、膜厚精度、光学系組み込み精度、入射光の波長精度等を緩めることができ、その結果、光変調素子の製造コストを低く抑えることができるようになる。

【0012】請求項2記載の光変調素子は、前記可動薄膜が、前記平面電極の形成されない可動薄膜側非電極部を有し、前記第一平面基板が、前記可動薄膜側非電極部と対面する位置に前記平面電極の形成されない基板側非電極部を有していることを特徴とする。

【0013】この光変調素子では、可動薄膜及び第一平面基板の光透過部位に透明電極を設ける必要がないので、透明電極による光の吸収を皆無にできる。また、光強度が強い場合に生じる透明電極の発熱による変形・破壊等が防止でき、光変調素子の高速駆動と長寿命化が実現する。さらに、光の吸収がなくなるので、透過光の強度も増大させることができる。なお、前記干渉膜を、屈折率の高い誘電体材料と、屈折率の低い誘電体材料とを交互に積層した多層干渉膜とすれば、各層間の境界面での反射光や透過光による干渉を強め合い、高反射率、高透過率が得られるようになる。さらに、前記第一平面基板の多層干渉膜と、前記第二平面基板の多層干渉膜とが、前記可動薄膜を対称に同一の積層構造を有したものとすれば、可動薄膜の移動による透過光量の変化を大きくできる。

【0014】請求項3記載の光変調素子アレイは、前記可動薄膜を矩形状に形成し且つ前記可動薄膜の長手方向両端を支持した請求項1又は請求項2記載の光変調素子を、同一平面上で、前記可動薄膜の長手方向に直交する方向に複数近接させて並設したことを特徴とする。

【0015】この光変調素子アレイでは、光変調素子を、同一平面上で、可動薄膜の長手方向に直交する方向に複数近接させて並設することで、光変調素子の並設数と同数の画素数で、1ライン分を同時に光変調することができる。

【0016】請求項4記載の露光装置は、請求項3記載の光変調素子アレイと、前記光変調素子アレイに光ビームを照射するレーザ光源と、前記光ビームに感光する感

光材料に対して、前記光変調素子アレイからの出射光を主走査方向及びこれと直交する副走査方向に相対移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする。

【0017】この露光装置では、請求項3記載の光変調素子アレイを用い、この光変調素子アレイにレーザ光源からの光を照射し、光変調素子から出射される光を移動手段によって感光材料に対して相対移動させつつ感光材料に照射することで、感光材料を直接走査露光することができる。

【0018】請求項5記載の露光装置は、請求項3記載の光変調素子アレイと、前記光変調素子アレイに光ビームを照射する高出力レーザ光源と、前記光変調素子アレイからの出射光を集光する集光レンズと、前記光ビームに感光する感光材料に対して、前記集光レンズにより集光された出射光を主走査方向及びこれと直交する副走査方向に相対移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする。

【0019】この露光装置では、請求項3記載の光変調素子アレイを用い、この光変調素子アレイにレーザ光源からの光を照射し、光変調素子から出射される光を集光レンズにより集光させて、この出射光を移動手段によって感光材料に対して相対移動させつつ感光材料へ照射することで、感光材料を直接走査露光することができ、ほぼ密着露光に近い光学系を構成できる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る光変調素子及び光変調素子アレイ並びにそれを用いた露光装置の好適な実施の形態を図面を参照して詳細に説明する。図1は本発明に係る光変調素子の構成を示す断面図、図2は図1に示した光変調素子の平面図、図3は光変調素子の層構造例を示す説明図である。

【0021】図1に示すように、光変調素子21は、上面に干渉膜22及び平面電極37を有し変調する光に対して透明な第一平面基板23と、この第一平面基板23の上面に犠牲層の形成・除去等の方法によって形成した空隙25を隔てて、干渉膜及び平面電極（可動電極）31を有する可動薄膜27と、さらに同様の空隙26を隔てて、下面に干渉膜45を有し変調する光に対して透明な第二平面基板47とを基本構成として備えている。これら第一平面基板23、可動薄膜27、第二平面基板47は互いに平行に対向配置されている。なお、可動薄膜27は、可動薄膜27自体を干渉膜により形成する他にも、干渉膜を別途に形成してもよい。なお、本実施の形態においては可動薄膜27自身が干渉膜からなる場合を例に説明する。

【0022】第1平面基板23は、ガラス基板35、干渉膜22、平面電極（固定電極）37を順次積層した構造であり、固定電極37上には支持部28が立設されている。第一平面基板23の固定電極37上に立設された支持部28は、例えばシリコン酸化物、シリコン窒

物、セラミック、樹脂等からなり、その上面を可動薄膜27と接合させている。可動薄膜27は、弾性を有し、矩形状に形成され、支持部28に長手方向両端部を接合されて、平面電極（可動電極）31を、干渉膜であるダイヤフラム33上に積層した構造となっている。

【0023】可動電極31及び固定電極37は、アルミニウムからなるが、この他にも、金属或いは導電性を有する金属化合物が利用できる。この金属としては、金、銀、パラジウム、亜鉛、銅等の金属薄膜を用いることができ、金属化合物としては、これら金属の化合物等を用いることができる。また、ダイヤフラム33は、 TiO_2 からなるが、シリコン窒化物、各種酸化物、窒化物等を用いることができる。可動薄膜27に干渉膜を別途に設ける場合には、この他にも、セラミック、樹脂等の他、ポリシリコン等の半導体、絶縁性のシリコン酸化物等を用いることができる。

【0024】第二平面基板47は、可動薄膜27に対面する面（図1の下面）に干渉膜45を有し、可動薄膜27の長手方向両端の可動電極31上に立設した支持部29を介して干渉膜45側の下面が支持されることで、第一平面基板23及び可動薄膜27に対して平行に対向配置されている。この第二平面基板47は、ガラス基板36に干渉膜45を積層した構造となっている。ここで、上記したガラス基板35、36は、ガラス以外にも、例えばポリエチレンテレフタレート、ポリカーボネート等の樹脂等を用いることができる。

【0025】また、光変調素子21は、図2に示すように、複数の可動薄膜27が例えば同一平面上で、可動薄膜27の長手方向に直交する方向に近接して、1次元のアレイ状に形成される。なお、図2中の各部位における寸法は、例えば $a=150\mu m$ 、 $b=20\mu m$ 、 $c=50\mu m$ 程度で形成することができる。

【0026】また、可動薄膜27の長手方向中央部には、この可動薄膜27に形成した可動電極31を長手方向両端に分断する薄膜側非電極部41を設けており、また、第一平面基板23にも、この薄膜側非電極部41に対面する基板側非電極部43を設けている。つまり、可動薄膜27の長手方向中央部とこれに対応する第一平面基板23の領域は電極部が存在せず、これら薄膜側非電極部41及び基板側非電極部43には、図1及び図2に示すように、可動電極31及び固定電極37を積極的に除去している。光変調素子21は、この薄膜側非電極部41及び基板側非電極部43が光透過部となって光変調を行うため、光透過部位に透明電極を設ける必要がなくなり、導電率や光透過率を向上させることができる。

【0027】上記のように、本実施形態の光変調素子21は、第一平面基板23のガラス基板35と、第二平面基板47のガラス基板36との間に、干渉膜22と干渉膜45とを有し、その干渉膜22と干渉膜45との間に、空隙25、26を挟んで干渉膜を有する可動薄膜2

7を配置した構成となっている。このように、可動薄膜27は、第一平面基板23側及び第二平面基板47側に空隙25、26を有して干渉膜22、干渉膜45に対面している。

【0028】これら干渉膜22、45は、多層干渉膜からなり、例えば蒸着やスパッタにより形成した $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ の多層膜とすることができる。これらの干渉膜22、45の層構成の例を図3に示した。本実施形態では、可動薄膜27に TiO_2 を用い、干渉膜22と、干渉膜45と、可動薄膜27との全体で TiO_2 と SiO_2 の層を合計7層設けた多層干渉膜としている。即ち、その積層構造は、図3(b)に示すように、第一平面基板側から順に、ガラス/ SiO_2 / TiO_2 / SiO_2 /空隙/ TiO_2 /空隙/ SiO_2 / TiO_2 / SiO_2 /ガラスとなっている。これら干渉膜22、45は、屈折率の高い誘電体材料と屈折率の低い誘電体材料とを交互に積層されることで、各層間の境界面での反射光や透過光による干渉を強め合い、高反射率、高透過率が得られる多層膜干渉効果によって、所謂ハーフミラーとしての機能を奏する。

【0029】また、第一平面基板23の干渉膜22と、第二平面基板47の干渉膜45とは、可動薄膜27を対称に同一の積層構成を有している。これにより、透過光量の可動薄膜の移動による変化を大きくできる。

【0030】次に、上記構成の光変調素子21の光変調動作を説明する。図4に光変調素子の動作を説明する断面図を示した。光変調素子21では、図4(a)に示す状態から、可動薄膜27の可動電極31と第一平面基板23の固定電極37との間に駆動電圧 V_{ON} を印加すると、可動薄膜27に電荷が静電誘導される。この電荷と第一平面基板23の固定電極37との間に作用する静電気力によって、可動薄膜27は、図4(b)に示すように、第一平面基板23側へ吸着力が働くことによって弾性変形され、第一平面基板23上面に近接するように変位する。一方、非駆動電圧 V_{OFF} が印加されて静電気力による吸着力がなくなると、図4(a)に示すように、弾性復帰力によって再び可動薄膜27の中央部が空隙25を隔てた位置に浮上して配置される。光変調素子21では、この可動薄膜27の変位動作又は弾性復帰動作により、特定の波長域の光が選択的に透過又は反射される。

【0031】つまり、光変調素子21は、可動薄膜27の変位により、可動薄膜27、干渉膜22、45からなる平行ミラー間の距離をそれぞれ異ならせ、平行ミラー間で繰り返し反射させた合成波の強度を変化させることによって、導入された光を透過又は反射させている。即ち、ファブリペロー干渉を利用した光変調を行っている。

【0032】この光変調素子21では、可動薄膜27を変位させることで、干渉モードにて光変調を行ってい

る。これにより、低い駆動電圧(数V〜数十V)で、数十[nsec]の高速動作が可能になる。なお、干渉の条件を満たせば、空隙25、26の間隔、屈折率、可動薄膜27及び干渉膜22、45の光強度反射率等はいずれの組合せでも良い。また、印加電圧の値により空隙25、26の間隔を連続的に変化させると、透過スペクトルの中心波長を任意に変化させることが可能である。これにより透過光量を連続的に制御することも可能である。即ち、印加電圧による階調制御が可能となる。また、本実施形態の光変調素子21は、入射した光を入射光導入側に反射して戻す反射型の光変調素子としても、また、第二平面基板47側から可動薄膜27を通して第一平面基板23側へ透過させる透過型の光変調素子としても構成できる。

【0033】本実施の形態による光変調素子21は、可動薄膜27と第一平面基板23とからなる従来構成の光変調素子による光変調作用に加えて、干渉膜45を有する第二平面基板47を空隙26を隔てて上下直列に結合することで、従来構成の場合よりも広い透過帯を得ることができるようになってい。従って、従来、可動薄膜27と第一平面基板23とを配置して透過させるのみでは狭かった光透過を可能とする波長マージンを、広く設定することができる。これにより、膜厚精度、光学系組み込み精度、入射光の波長精度等を緩めることができ、その結果、光変調素子の製造コストを低く抑えることができる。

【0034】また、上記構成の光変調素子21によれば、光変調において、電極部による光の吸収を皆無にでき、光強度が強い場合に生じる電極部の発熱による変形・破壊等が防止でき、光変調素子21の高速駆動が可能になり、かつ長寿命化が実現できる。さらに、光透過部位における光の吸収がなくなるので、透過光の強度も増大させることができる。また、可動薄膜を矩形状に形成し、その中央部の全てを薄膜側非電極部41として電極を除去したので、複数の光変調素子を一次元に配列した場合、隣接する光変調素子の光透過部同士の間電極が介在せず、露光装置、表示装置に用いた場合の画素密度を高精細にできる。

【0035】ここで、第二平面基板47を設けることにより、光透過が可能となる波長マージンが広がる様子を、シミュレーションによって求めた結果について、図5〜図9を参照して順次説明する。図5は図1に示す合計7層の干渉膜を備えた光変調素子に対する光の透過率特性を示すグラフである。図中、○印は電極へ駆動電圧を印加した場合の特性で、●印は非駆動電圧を印加した場合の特性を示している。この場合、波長 $\lambda=405\text{nm}$ 近傍を透過帯としており、干渉膜の構造は図3(b)にも示したように、電極への非駆動電圧の印加時では、第2平面基板47側から、

【0036】 SiO_2 (145nm)

TiO_2 (21 nm)
 SiO_2 (33 nm)
 空隙 (101 nm)
 TiO_2 (42 nm)
 空隙 (101 nm)
 SiO_2 (17 nm)
 TiO_2 (25 nm)
 SiO_2 (148 nm)

となる。そして、駆動電圧の印加時では、可動薄膜27下側の空隙25がなくなることになる。また、ここでの光変調素子は、入射光の波長が405 nmであることを想定して、全ての波長域で $\lambda = 405 \text{ nm}$ として計算した。

【0037】但し、屈折率 n は、

ガラス $n = 1.5151$
 SiO_2 $n = 1.4703$
 TiO_2 $n = 2.3493$
 空隙 $n = 1$

としている。

【0038】また、図6は、図5に示す透過率特性の計算において、各膜厚の組み合わせを決める際の収束計算を、標準とした2回から1回に変更した結果を示すグラフである。この透過率特性においては、光透過が可能となる波長マージンが格段に広くなり、幅広い波長域に対して光変調が可能となる。

【0039】図7は、光変調素子の干渉膜の構成を、図3(c)に示す9層構成とした場合の光の透過率特性を示すグラフであり、図8は、図3(d)に示す15層構成とした場合の光の透過率特性を示すグラフである。いずれの透過率特性においても、光透過が可能となる波長マージンが広がっている。

【0040】一方、図9は、比較のため従来の多層干渉膜を備えた光変調素子における波長特性をシミュレーションにより求めたグラフであって、光変調素子を合計7層の干渉膜で構成した場合の波長特性を示している。この場合の層構成及び各層の厚みは以下の通りである。

TiO_2 (43.1 nm)
 SiO_2 (68.9 nm)
 TiO_2 (43.1 nm)
 空隙 (101.3 nm)
 SiO_2 (137.8 nm)
 TiO_2 (43.1 nm)
 SiO_2 (68.9 nm)
 TiO_2 (43.1 nm)

【0041】図9に示す $\lambda = 405 \text{ nm}$ 近傍を透過帯とする従来の光変調素子の場合には、その多層膜構造は、非駆動電圧の印加時（電圧OFF状態）では、光透過状態となり得る波長マージンが、非常にシャープな分布となり透過帯が狭小となる。

【0042】これらのシミュレーションの結果から、第

二平面基板を有した光変調素子による光透過性が得られる波長マージンは、従来の第二平面基板を有しない光変調素子の波長マージンと比較すると、第二平面基板を有した光変調素子の方が、波長マージンが格段に広がることを確認できる。

【0043】以上説明したように、第二平面基板を有する光変調素子の光の透過率特性によれば、光透過が可能となる波長マージンが、波長約405 nmを中心にして広く設定されているため、光変調素子製作時或使用時に、各干渉層の膜厚精度、光学系組み込み精度、入射光の波長精度等の各種誤差要因により透過率特性が多少変化しても、透過率特性の変化が直ちに光変調素子の光変調機能に大きく影響することがなく、実使用に影響のない許容範囲内に収められる。従って、光変調素子製作時や組み付け時の要求精度を緩和でき、製造コストの低減が図られる。

【0044】なお、上記した光変調素子は、可動薄膜27を矩形状で形成し、長手方向の任意の位置における幅が等しい場合を説明したが、光変調素子21は、図10に示すように、可動薄膜27の長手方向両端近傍に、中央部の幅より狭い狭小部59を形成するものであってもよい。なお、図10中の各部位における寸法は、例えば、 $a = 150 \mu\text{m}$ 、 $b = 20 \mu\text{m}$ 、 $c = 50 \mu\text{m}$ 、 $d = 10 \mu\text{m}$ 、 $e = 100 \mu\text{m}$ 程度で形成することができる。

【0045】このような狭小部59を設けることで、光を透過又は反射させる可動薄膜27の長手方向中央部の変形を小さくした状態で、可動薄膜27全体を第一平面基板23に対して平行に変位させることができるようになる。また、この狭小部59が変形することにより、均一幅の可動薄膜27を変形させる場合に比べ、可動薄膜27の駆動力が低減し、駆動速度の高速化が可能になる。

【0046】次に、上記した光変調素子21を、光変調素子アレイとして利用した露光装置について説明する。図11は本発明に係る露光装置の要部構成の概略を表した斜視図、図12は図11に示した光変調素子アレイの拡大斜視図、図13は上記の光変調素子を用いて構成した他の露光部の拡大斜視図である。この実施の形態では、光変調素子21により構成した光変調素子アレイを、液晶カラーフィルタ製造工程に使用するフォトリソスト用の露光装置61に適用した例を説明する。

【0047】この露光装置61は、図11に示すように、露光対象物63を側面に吸着して保持する縦型のフラットステージ65と、画像データ67に応じて変調された光ビーム（紫外レーザ光）69で露光対象物63を走査露光する露光ヘッド71とを備えている。フラットステージ65は、図示しないガイドによってX軸方向に移動可能に支持されており、露光ヘッド71は、図示しないガイドによってY軸方向に移動可能に支持されてい

る。

【0048】フラットステージ65の裏面角部には一對のナット73が固定されており、ナット73の雌ねじ部75にはリードスクリュー77が螺合されている。リードスクリュー77の一方の端部にはリードスクリュー77を回転させる駆動モータ79が取り付けられており、駆動モータ79はモータコントローラ81に接続されている。そして、この駆動モータ79によるリードスクリュー77の回転に伴い、フラットステージ65がX軸方向にステップ状に移動される。

【0049】露光ヘッド71の下部には一對のナット83が固定されており、ナット83の雌ねじ部85にはリードスクリュー87が螺合されている。リードスクリュー87の一方の端部にはリードスクリュー87を回転させる駆動モータ89がベルトを介して連結されており、駆動モータ89はモータコントローラ81に接続されている。そして、この駆動モータ89によるリードスクリュー87の回転に伴い、露光ヘッド71がY軸方向に往復移動される。ナット83、リードスクリュー87、駆動モータ89は、移動手段90を構成する。

【0050】この場合の露光対象物63は、ブラックマトリックスが形成されたガラス基板上に、例えばR色の顔料を紫外線硬化樹脂に分散させたカラーレジスト膜を形成したものである。この露光対象物63に紫外レーザー光69を照射すると、カラーレジスト膜の紫外レーザー光69が照射された部分だけが硬化してR色のカラーフィルタ部が形成される。

【0051】露光ヘッド71は、図12に示すように、高出力な紫外レーザー光源91、紫外レーザー光源91から入射されたレーザー光をX軸方向に平行光化すると共にXY平面と直交する方向に収束させるレンズ93、入射されたレーザー光を画像データ67に応じて各画素毎に変調する光変調素子アレイ95、及び光変調素子アレイ95で変調されたレーザー光を露光対象物63の表面に倍率を変えて結像させるズームレンズ97で構成された露光ユニットを備えている。

【0052】この露光ユニットを構成する各部材はケーシング99内に収納されており、ズームレンズ97から出射された紫外レーザー光69は、ケーシング99に設けられた図示しない開口を通過して露光対象物63の表面に照射される。ズームレンズ97は、図示しない駆動モータによって、光軸に沿って移動され結像倍率の調整を行う。なお、通常、ズームレンズは組合せレンズで構成されるが、図示を簡単にするため1枚のレンズのみ示した。

【0053】紫外レーザー光源91、レンズ93、光変調素子アレイ95、及びズームレンズ97は、図示しない固定部材によってケーシング99に固定されており、ズームレンズ97は、図示しないガイドによって光軸方向に移動可能に支持されている。また、紫外レーザー光源9

1及び光変調素子アレイ95は、各々図示しないドライバを介してこれらを制御する図示しないコントローラに接続されている。

【0054】紫外レーザー光源91は、例えば窒化ガリウム系半導体レーザーを用いる。なお、ブロードエリアの発光領域を有する窒化ガリウム系半導体レーザーを用いると、波長約405nmの紫外領域の光が高出力で得られ、高速での走査に有利になる。

【0055】感光材料としては、液晶カラーフィルタ形成用感光材料、プリント配線基板製造用のフォトレジスト、印刷用感光性シリンダー、印刷用感光性材料を塗布したシリンダー、及び印刷用刷版を挙げることができる。これら感光材料は、縦型の平板ステージに保持することができる。感光材料を縦型の平板ステージに保持することにより、感光材料のたわみを最小限に抑えられるため高精度な露光が図られる。

【0056】光変調素子アレイ95は、上記の光変調素子21を、同一平面上で、可動薄膜27の長手方向に直交する方向に複数近接させて並設している。この実施の形態では、並設方向が図12の上下方向(X方向)となる。従って、この並設方向に直交する方向(Y方向)で露光対象物63と露光ヘッド71とを相対移動させると、光変調素子21の並設数と同数の画素数で、1ライン分を露光対象物63に露光することができ、この場合においても、光変調素子21の有する特性により、高速の露光が可能になり、かつ長寿命化が実現できる。なお、図12中の各部位における寸法は、例えば、 $f=2\text{ mm}$ (1000ch)、 $g=20\text{ }\mu\text{ m}$ 程度で形成することができる。

【0057】次に、本実施の形態の露光装置の動作を説明する。露光対象物63に紫外レーザー光69を照射して露光するために、画像データ67が、光変調素子アレイ95のコントローラ(図示せず)に入力され、コントローラ内のフレームメモリに一旦記憶される。この画像データ67は、画像を構成する各画素の濃度を2値(即ちドットの記録の有無)で表したデータである。

【0058】露光ヘッド71の紫外レーザー光源91から出射されたレーザー光は、レンズ93によりX軸方向に平行光化されると共にXY平面と直交する方向に収束されて、光変調素子アレイ95に入射される。入射されたレーザー光は、光変調素子アレイ95によって同時に変調される。変調されたレーザー光がズームレンズ97により露光対象物63の表面に結像される。

【0059】露光開始時には、露光ヘッド71が露光開始位置(X軸方向及びY軸方向の原点)に移動される。モータコントローラ81が駆動モータ89を一定速度で回転させると、リードスクリュー87も一定速度で回転し、リードスクリュー87の回転に伴い、露光ヘッド71がY軸方向に一定速度で移動される。

【0060】露光ヘッド71のY軸方向への移動と共

に、フレームメモリに記憶されている画像データ67が、1ライン分、光変調素子アレイ95の光変調素子21の数と略同数の画素単位で順に読み出され、読み出された画像データ67に応じて光変調素子21の各々がオン/オフ制御される。これにより露光ヘッド71から出射される紫外レーザ光69がオン/オフされて、露光対象物63が、X軸方向に光変調素子21の数と略同数の画素単位で露光されると共に、Y軸方向に1ライン分走査露光される。

【0061】露光ヘッド71が露光対象物63の端部に達すると、露光ヘッド71はY軸方向の原点に復帰する。そして、モータコントローラ81が駆動モータ79を一定速度で回転させると、リードスクリュー77も一定速度で回転し、リードスクリュー77の回転に伴い、フラットステージ65がX軸方向に1ステップ移動される。以上の主走査及び副走査を繰り返し、露光対象物63が画像様に露光される。なお、上記では露光ヘッド71を原点に復帰させて往路でのみ露光する例について説明したが、復路においても露光するようにしてもよい。これにより更に露光時間を短縮できる。

【0062】この露光装置61によれば、光変調素子アレイ95における光変調素子の並設方向に直交する方向で、光変調素子アレイ95を移動手段によって感光材料に対し相対移動させることで、紫外線領域に感度を有する感光材料をデジタルデータに基づいて直接走査露光することができ、この場合においても、高速の露光を可能にし、かつ長寿命化を実現できる。

【0063】また、高出力の紫外レーザ光源を用いているので、紫外領域に感度を有する露光対象物を、デジタルデータに基づいて直接走査露光することができる。これにより、プロキシミティ方式の露光装置と比べると、

(1) マスクが不要でコストが削減できる。これにより生産性が向上する他、少量多品種の生産にも好適である、(2) デジタルデータに基づいて直接走査露光するので適宜データを補正することができ、高精度な保持機構、アライメント機構、及び温度安定化機構が不要になり、装置のコストダウンを図ることができる、(3) 紫外レーザ光源は超高圧水銀ランプに比べ安価で耐久性に優れており、ランニングコストを低減することができる、(4) 紫外レーザ光源は駆動電圧が低く消費電力を低減できる、という利点がある。

【0064】更に、薄膜側非電極部41及び基板側非電極部43を有する光変調素子21を用いているため、従来の透過光を変調する光学素子(PLZT素子)や液晶光シャッタ(FLC)を用いる構成に比べて、入射光の吸収性を格段に少なくすることができ、紫外レーザ光に対する耐久性を高めることができる。この結果、高出力紫外レーザを光源に用いる露光を行う場合であっても、露光装置の信頼性を大幅に向上させることができる。また、光変調素子アレイ95は、静電気力を利用した電気

機械動作により駆動されるため、低い駆動電圧(数V～数十V)で、動作速度が数十[nsec]程度まで得られ、上述の耐久性が向上するという効果に加え、高速露光も可能になる。

【0065】なお、この実施の形態では、高出力レーザ光源を、GaN系半導体レーザと合波光学系とで構成した紫外レーザ光源とする例について説明したが、高出力レーザ光源を、以下の(1)～(4)のいずれかで構成してもよい。(1)窒化ガリウム系半導体レーザ。好ましくは、ブロードエリアの発光領域を有する窒化ガリウム系半導体レーザ。(2)半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ。

(3)半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザ。(4)上記(1)～(3)のいずれかのレーザ光源又はランプ光源と合波光学系とで構成された高出力レーザ光源。また、本実施形態では、光源を紫外光としたが、赤外、可視、紫外のいずれの波長であってもよい。

【0066】また、上記の実施の形態では、光変調素子アレイ95を通過させた変調光を、ズームレンズ97によって焦点調整して露光対象物63に照射する構成を説明したが、露光装置61は、例えば図13に示すように、光変調素子アレイ95と感光ドラム111との間に、ロッドレンズ等の集光レンズ113を配設し、光変調素子アレイ95からの変調光をこの集光レンズ113で集光させて、露光対象物に露光するものであってもよい。

【0067】このような構成によれば、光変調素子アレイ95からの変調光を集光レンズ113で集光して感光材料に直接露光するので、略密着露光に近い光学系を構成できる利点がある。なお、ここでは、移動手段としてアウトードラムである感光ドラムを用いる例について説明したが、これに限らず、インナードラム、フラットベツト等の他の移動手段を用いる構成としてもよい。

【0068】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明に係る光変調素子によれば、可動薄膜を挟む第一平面基板の反対側に、干渉膜を備え光の透過する第二平面基板を、空隙を隔てて平行に対向配置したので、従来、可動薄膜と第一平面基板とを透過させた場合では挟かった波長マージンを広くすることができ、膜厚精度、光学系組み込み精度、入射光の波長精度等を緩めることができ、その結果、光変調素子の製造コストを低く抑えることができるようになる。そして、本発明に係る光変調素子アレイによれば、光変調素子を、同一平面上で、可動薄膜の長手方向に直交する方向に複数近接させて並設したので、光変調素子の並設数と同数の画素数で、1ライン分を同時に光変調することができる。また、本発明に係る露光

装置によれば、光変調素子アレイと、光ビームを出射する高出力レーザ光源と、光変調素子アレイからの出射光を感光材料に対して相対移動させる移動手段とを設けたので、感光材料を直接走査露光することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る光変調素子の構成を示す断面図である。

【図 2】図 1 に示した光変調素子の平面図である。

【図 3】干渉膜の層構成の例を示す図である。

【図 4】光変調素子の動作を説明する断面図である。

【図 5】図 1 に示す合計 7 層の干渉膜を備えた光変調素子に対する光の透過率特性を示すグラフである。

【図 6】図 5 に示す透過率特性の計算において、各膜厚の組み合わせを決める際の収束計算を、標準とした 2 回から 1 回に変更した結果を示すグラフである。

【図 7】光変調素子の干渉膜の構成を、図 3 (c) に示す 9 層構成とした場合の光の透過率特性を示すグラフである。

【図 8】光変調素子の干渉膜の構成を、図 3 (d) に示す 15 層構成とした場合の光の透過率特性を示すグラフである。

【図 9】光変調素子を合計 7 層の干渉膜で構成した場合の波長特性を示すグラフである。

【図 10】可動薄膜の長手方向両端近傍に中央部の幅より狭い狭小部を形成した光変調素子の平面図である。

【図 11】本発明に係る露光装置の要部構成の概略を表した斜視図である。

【図 12】図 11 に示した光変調素子アレイの拡大斜視図である。

【図 13】図 11 に示した光変調素子を用いて構成した他の露光部の拡大斜視図である。

【図 14】従来の光変調素子の構成と動作を説明する図である。

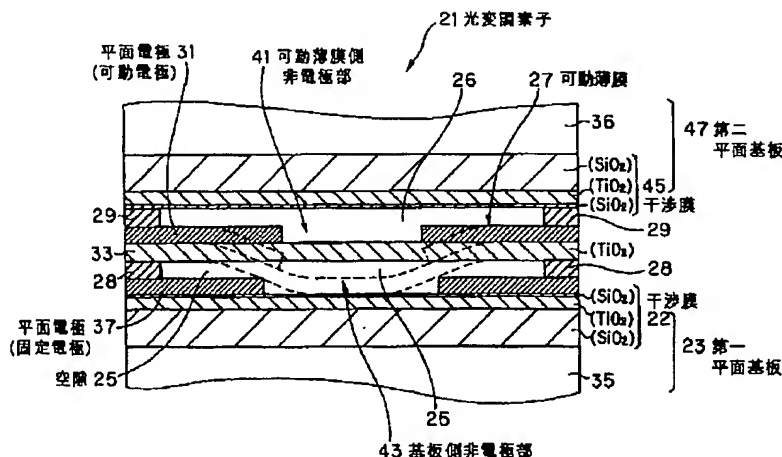
【図 15】ブラックライト用低圧水銀ランプの分光特性を示すグラフである。

【図 16】光変調素子の光の透過率を示すグラフである。

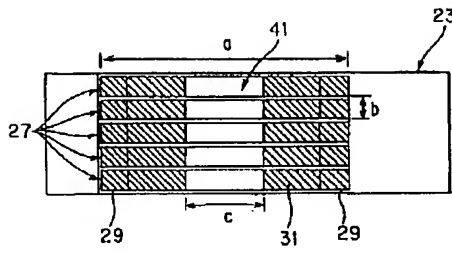
【符号の説明】

- 21…光変調素子
- 22, 45…干渉膜
- 23…第一平面基板
- 25, 26…空隙
- 27…可動薄膜
- 31, 37…平面電極
- 41…可動薄膜側非電極部
- 43…基板側非電極部
- 47…第二平面基板
- 95…光変調素子アレイ
- 61…露光装置
- 63…露光対象物（感光材料）
- 90…移動手段
- 91…紫外レーザ光源（高出力レーザ光源）
- 113…集光レンズ

【図 1】



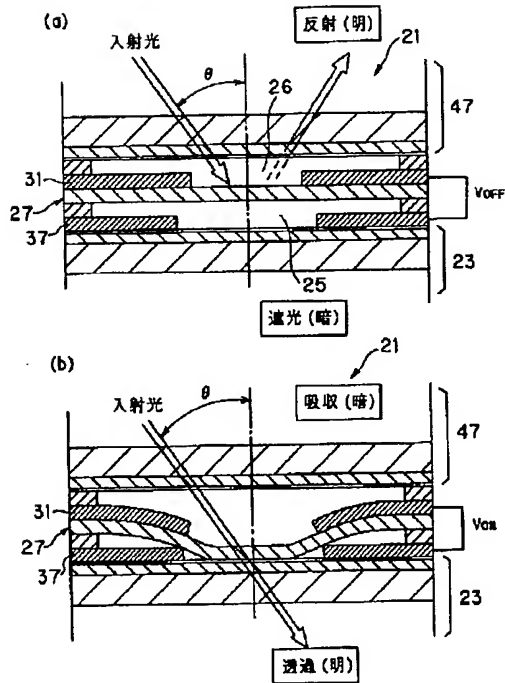
【図 2】



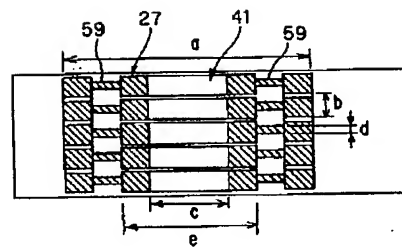
【図 3】

(a) 5層構成		(b) 7層構成		(c) 9層構成		(d) 15層構成	
ガラス	36	ガラス	36	ガラス	36	ガラス	36
① TiO ₂	45	① SiO ₂	45	① TiO ₂	45	① SiO ₂	45
② SiO ₂		② TiO ₂		② SiO ₂		② TiO ₂	
空隙		③ SiO ₂		③ TiO ₂		③ SiO ₂	
③ TiO ₂	33	空隙	33	空隙	33	④ TiO ₂	
空隙		④ TiO ₂		④ TiO ₂		⑤ SiO ₂	
④ SiO ₂	22	空隙	22	空隙	22	⑥ TiO ₂	22
⑤ TiO ₂		⑤ SiO ₂		⑤ SiO ₂		⑦ TiO ₂	
ガラス	35	⑥ TiO ₂	35	⑥ TiO ₂	35	⑧ SiO ₂	
		⑦ SiO ₂		⑦ SiO ₂		⑨ TiO ₂	
		ガラス		ガラス		⑩ SiO ₂	
						⑪ TiO ₂	33
						⑫ SiO ₂	
						⑬ TiO ₂	
						⑭ SiO ₂	
						⑮ TiO ₂	
						⑯ SiO ₂	35
						ガラス	

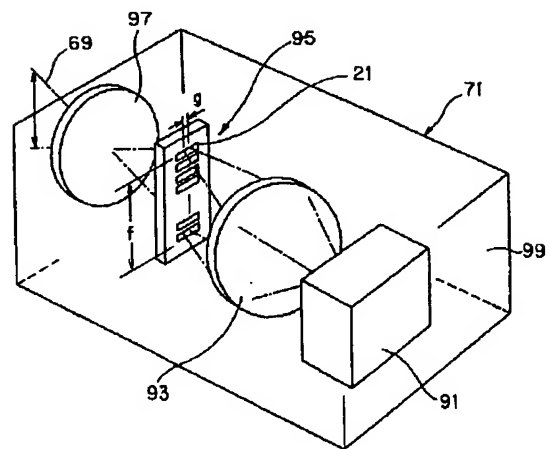
【図 4】



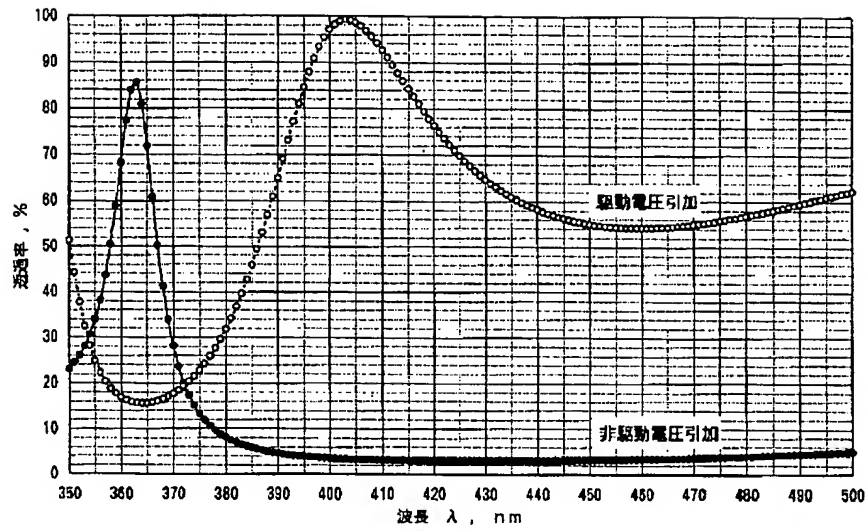
【図 10】



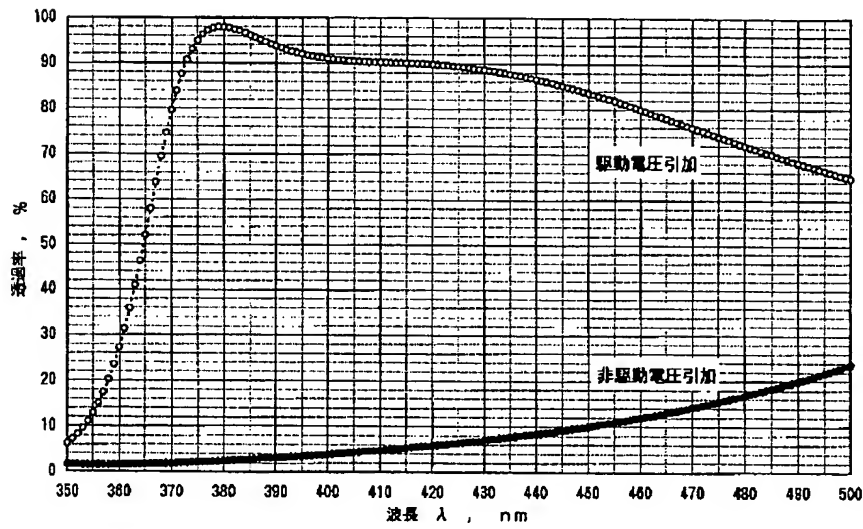
【図 13】



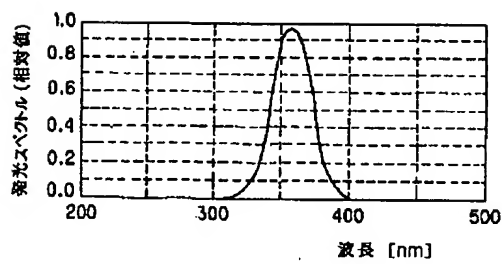
【図5】



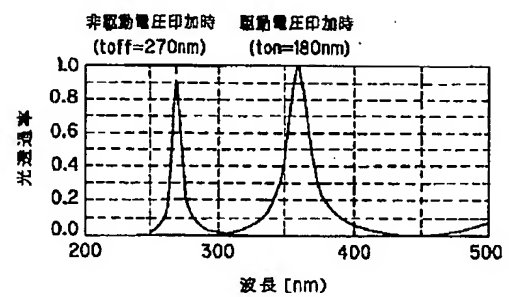
【図6】



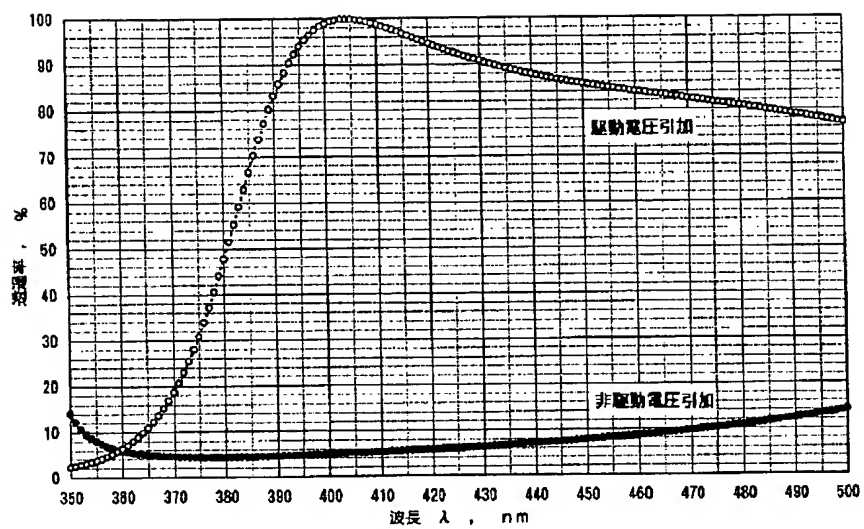
【図15】



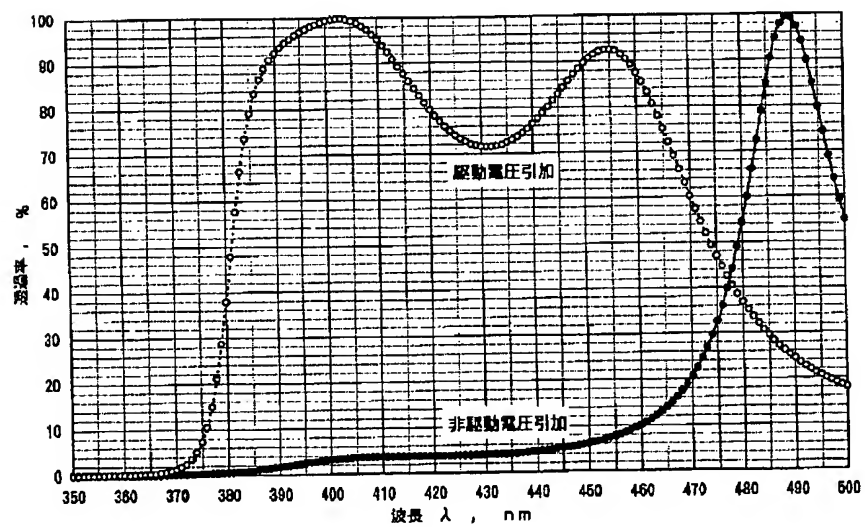
【図16】



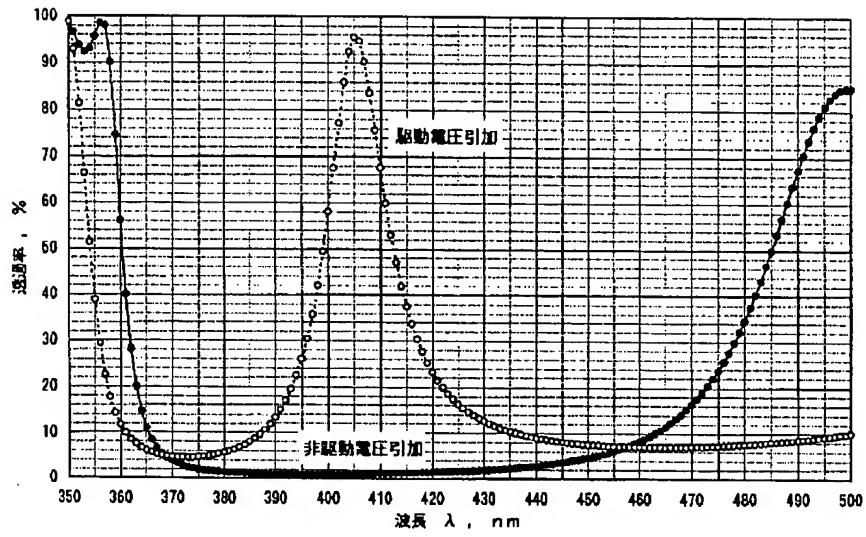
【图 7】



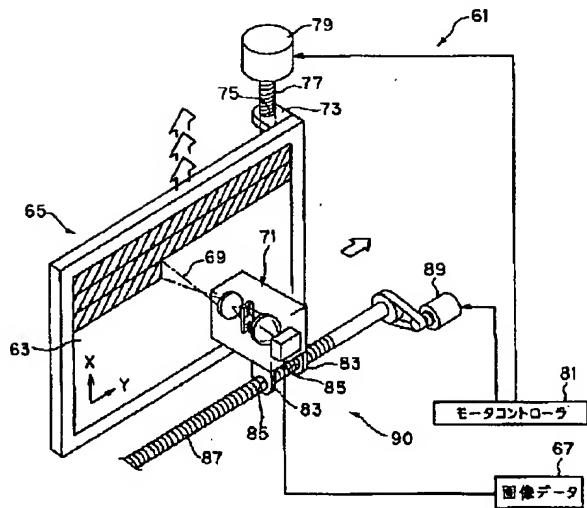
【图 8】



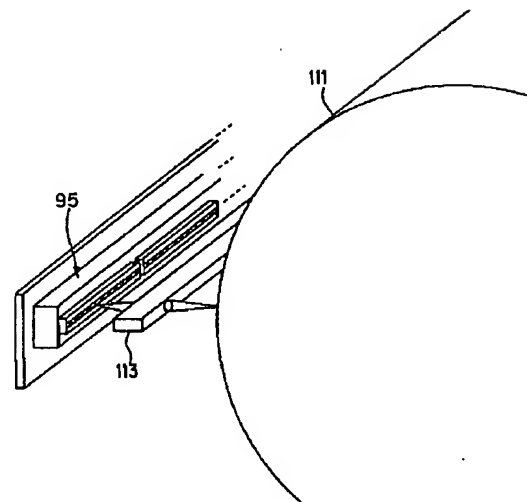
【図9】



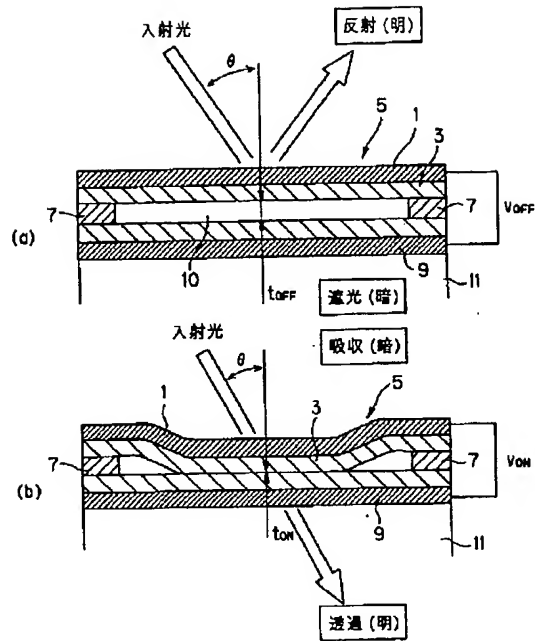
【図11】



【図12】



【図14】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. ⁷

H04N 1/04
1/19

識別記号

F I

B41J 3/21
H04N 1/04

ターマコード' (参考)

V

102

(72) 発明者 磯崎 真

埼玉県さいたま市植竹町1丁目324番地
富士写真光機株式会社内

Fターム(参考) 2C162 AE12 AE23 AE28 AE48 AE77

FA09 FA10 FA44

2H041 AA23 AB38 AC06 AZ01 AZ08

2H045 AG09 DA31

2H097 AA03 AB05 CA17 GA50 LA09

LA11

5C072 AA03 BA20 HA02 HA08 HB04

HB06 MA01 NA01

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2003195201 A

(43) Date of publication of application: 09.07.2003

(51) Int. Cl. G02B 26/08

B41J 2/445, G02B 26/10, G03F 7/20, H04N 1/04, H04N 1/19

(21) Application number: 2001396578

(22) Date of filing: 27.12.2001

(71) Applicant: FUJI PHOTO FILM CO LTD

FUJI PHOTO OPTICAL CO LTD

(72) Inventor: SAWANO MITSURU

ISOZAKI MAKOTO

(54) OPTICAL MODULATION ELEMENT, OPTICAL MODULATION ELEMENT ARRAY AND EXPOSURE DEVICE USING THE SAME

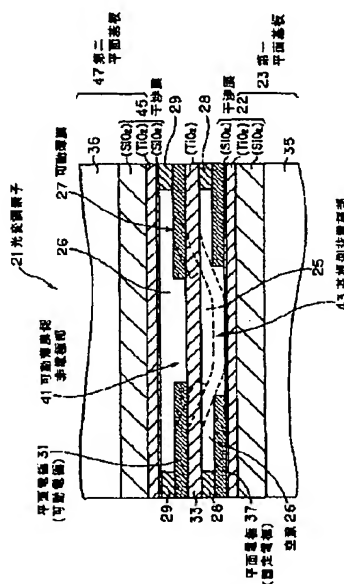
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical modulation element capable of widening a light-transmittable wavelength margin and thus moderating film thickness accuracy, optical system incorporation accuracy and wavelength accuracy of incident light, etc., and to provide an optical modulation element array and an exposure device using it.

SOLUTION: In the optical modulation element 21, a first planar substrate 23 and a movable thin film 27 respectively provided with an interference film and transparent to the light to be modulated are arranged in parallel facing each other across a clearance 25, the movable thin film 27 is displaced to the first planar substrate 23 by electrostatic force generated by applying a voltage to planer electrodes 31 and 37 respectively provided on the first planar substrate 23 and the movable thin film 27 and a light quantity to be transmitted through or reflected from the movable thin film 27 is changed. On the opposite side of the first planar substrate 23 across the movable thin film 27, a second planar substrate 47 provided with the interference film

45 and transparent to the light to be modulated is parallelly arranged facing each other across the clearance 26.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO



THIS PAGE BLANK (USPTO)